



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 101 03 670 A 1**

21 Aktenzeichen: 101 03 670.1  
22 Anmeldetag: 27. 1. 2001  
23 Offenlegungstag: 1. 8. 2002

5 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 21/322**  
H 01 L 31/18  
H 01 L 31/0392  
C 30 B 33/04

**DE 101 03 670 A 1**

11 **Anmelder:**

Christiansen, Jens I., Prof. Dr., 91054 Erlangen, DE;  
Christiansen, Silke, Dr., 91054 Erlangen, DE;  
Prof.-Dr.Horst P.Strunk Universität  
Erlangen-Nürnberg Institut für  
Werkstoffwissenschaften LS  
Mikrocharakterisierung, 91058 Erlangen, DE;  
Bayerisches Laser-Zentrum GmbH, 91058 Erlangen,  
DE

12 **Erfinder:**

Christiansen, Jens Ingwer, Prof. Dr., 91054  
Erlangen, DE; Christiansen, Silke, Dr., 91054  
Erlangen, DE; Strunk, Horst Paul, Prof. Dr., 91058  
Erlangen, DE; Otto, Andreas, Dipl.-Phys. Dr.-Ing.,  
90537 Feucht, DE; Eßer, Gerd, Dipl.-Ing., 91056  
Erlangen, DE; Urmoneit, Uwe, Dipl.-Phys., 91466  
Gerhardshofen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

14 Erzeugung kristalliner Si-Schichten mit (100)-Textur durch Laserbeschuß amorpher Si-Schichten auf einem Substrat

17 Bei einem der konventionellen Verfahren zur Erzeugung kristalliner Si-Schichten werden amorphe Si-Schichten auf z. B. Glassubstraten durch kurzzeitiges Aufschmelzen unter einem bewegten cw-Strahl eines Argonlasers kristallisiert.

In allen bisher durchgeführten Untersuchungen zeigten die Schichten zwar große Kristallite jedoch keine Textur. Die größten Kristalle werden erhalten bei Beheizung des Substrats auf Temperaturen um 500°C. Die Maximaltemperaturen der Schmelze liegen bei  $T_{max} = 2300$  K.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird bei unbeheiztem Substrat das Prozessfenster zu höheren einstrahlten Energien verschoben, was zu einer Erhöhung der Maximaltemperatur der Schmelze und damit zu einer längeren Schmelzdauer, verbunden mit einer wesentlichen Verlängerung der Abkühlphase der unterkühlten Flüssigkeit führt. Unter extremen Bedingungen wird eine Texturierung der kristallisierten Oberflächen erreicht, derart, daß der (100) Vektor zu mehr als 80% transversal zur Oberfläche weist. Unter der Bedingung maximal möglicher Fluenz und maximal möglicher Schmelzdauer lassen sich bei unbeheiztem Substrat maximal mögliche Kristallitgrößen bei gleichzeitiger Texturierung zugunsten der (100) Flächennormalen auf (z. B.) Glas oder Kunststoffsubstraten erzielen, die Maximaltemperaturen der Schmelze liegen bei  $T_{max} = 3300$  K.

Anwendungsgebiete texturierter Si-Schichten sind: Solarzellen z. B. auf Glas und Kunststoffen, sowie Transistoren auf Glas (z. B. für die Ansteuerung ...

**DE 101 03 670 A 1**

5 **[0001]** In den letzten Jahren sind mit verschiedenen Lasern zahlreiche Untersuchungen zur homogenen Kristallisation amorpher Si-Oberflächen gemacht worden. Im Vordergrund standen Untersuchungen, bei denen Eximerlaser verwendet werden, um amorphes Silizium mit kurzen Laserpulsen aufzuschmelzen, und das wieder erstarrende Material so zu führen, dass die Umwandlung des Schichtmaterials in möglichst große einkristalline Bereiche stattfindet. Hierbei erweisen sich die Größen der charakteristischen Kristallitdurchmesser als abhängig von der Temperatur der Unterlage und abhängig von der Abkühlgeschwindigkeit des Materials. Es zeugt sich, dass eine möglichst langsame Abkühlung (Zeiddauer des flüssigen Zustandes im Submikrosekundenbereich) anzustreben ist. Verfahren dieser Art sind bereits im industriellen Einsatz. Eine wesentliche Verbesserung der Kristallqualität (große Flächenkristalle) wurde erreicht durch Arbeiten von G. Andri und Mitarbeitern (Jena), wobei anstelle gepulster Laserstrahlung ein cw Strahl eines Ar-Ionen-Lasers verwendet und dabei eine Bewegungskwindigkeit des Laserfokuspunktes von einigen cm pro Sekunde eingestellt wurde, so dass die Verweilzeit des Fokuspunktes auf einem gegebenen Ort der Oberfläche eine Zeiddauer von ca. einer Millisekunde ausmachte. Als Folge der Energiezufuhr im Millisekundenbereich konnte erreicht werden, dass das Eindringen der Wärme in die Schichtunterlage (Substrat; hier: Glas, aber auch Quarzglas), den gesamten Abkühlungsprozess wesentlich verlangsamt. Modellrechnungen zeigen, dass durch diese Versuchsführung auch die Zeiddauer zwischen dem Aufschmelzen und dem Wiedererstarren des Materials in der Größenordnung von Millisekunden liegt, was zum Teil mit der lokalisierten Erwärmung der Substratunterlage zu begründen ist. Die Substratunterlage wirkt als Energiespeicher, wobei der Wärmerückfluß aus der angewärmten Substratoberfläche den Abkühlvorgang der Schicht verlangsamt. Auf diese Weise konnte erreicht werden, dass die in die Flüssigkeit (Si) eindringende Kristallisationsfront ohne wesentliche Störung des Wachstums von einkristallinen Zonen erfolgt. Auf diese Weise wurden Kristallite mit Durchmessern > 100 µm erzeugt mit einem Verfahren, bei dem der Durchmesser des Laserfokus eines cw-Lasers 60–100 µm betrug.

## Beschreibung der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Patentschrift beschreibt ein Verfahren zur Kristallisation und zur Texturierung amorpher Siliziumschichten durch Aufschmelzen der Schichten im Bereich eines relativ zur Oberfläche bewegten Laserstrahls, dessen Fokus sich in unmittelbarer Nähe der Schicht befindet.

**[0003]** Das Verfahren ist gekennzeichnet dadurch, dass sich die Bewegung des Strahls auf der Oberfläche des Systems (Substrat + Schicht) ergibt

- a) durch eine lineare Bewegung des Portalsystems mit dem das System starr verbunden ist (Methode a) oder
- b) durch eine Bewegung des Strahls (mit optischen Mitteln) auf der Oberfläche (starr) (Methode b)

**[0004]** Bei der Anwendung der Methoden a oder b lassen sich Flächen oder vorgegebene Strukturen absannen mit der Maßgabe, dass das Material in nebeneinander liegenden Streifen aufgeschmolzen wird, die eine vorgebbare Überlappungszone Ad aufweisen (Fig. 1).

**[0005]** Auf diese Weise durchläuft der mit gleichmäßiger Geschwindigkeit v bewegte Laserfokus (Durchmesser 2p) amorphes Material, das vom Strahl aufgeschmolzen wird, so wie kristallisiertes Material, das nur teilweise geschmolzen wird. Für Argon-Ionenlaserstrahlung (488 nm bzw. 514 nm bzw. ein Gemisch von beiden Wellenlängen) ist die Absorption des Laserlichtes für kristallines Material sehr viel kleiner als für amorphes Material, so daß im Bereich, wo flüssiges Material an kristallines Material grenzt, epitaktisches Wachstum entsteht. Voraussetzung für das epitaktische Wachstum ist, daß die Temperatur der Schmelze auf einen Wert unterhalb der Schmelztemperatur des kristallinen Siliziums  $T_{mc} = 1683$  K abgekühlt ist.

**[0006]** In einem mit dem Laserfokus (Geschwindigkeit v) bewegten Koordinationssystem (Fall a: v = Geschwindigkeit des Portalsystems, Fall b: v = Geschwindigkeit des Strahls) bezeichnet s den Weg zwischen dem Punkt A auf der Liniennitte an dem die Aufschmelzzone beginnt und der Mitte B der im stationären Gleichgewicht ebenfalls mit v fortschreitenden Bewegung der Front des epitaktisch wachsenden kristallinen Schichtmaterials. (Fig. 1).

**[0007]** Geht man davon aus, daß sich der aufgeschmolzene streifenförmige Bereich lateral zwischen den Punkten A und B ausdehnt, so ergibt sich für die Zeiddauer  $t_{schmelz}$  für die das Material als Schmelze vorliegt:

$$t_{schmelz} = s/v \text{ und es ergeben sich}$$

typische Werte für die Zeiddauer  $t_{schmelz}$  der geschmolzenen Zone von 0,1 bis 0,5 Millisekunden sowie bei gewählten Werten v = 1 bis 10 cm/sec typische Werte der Länge der geschmolzenen Zone s von 1 bis 50 µm

**[0008]** Der experimentelle Nachweis und die Vermessung der geschmolzenen Zone der Breite s kann online erfolgen durch Vermessung des Reflexionsverhaltens eines Hülllasersstrahls.

**[0009]** Bei dem gesamten Vorgang wird im Falle eines Glassubstrates das Glas ebenfalls für eine Zeiddauer von Millisekunden auf Temperaturen >  $T_{mc} = 1683$  K gebracht und es ergibt sich bei Eindringtiefen der Wärme in der Größenordnung von 50 µm ins Glas eine Aufschmelztiefe des Substrates von der gleichen Größenordnung.

**[0010]** Die Existenz einer geschmolzenen Zone der Länge s in der Schicht kennzeichnet das Einsetzen der Laserkristallisation und definiert die dazu notwendige minimale Energiezufuhr.

**[0011]** Es ist sinnvoll, diese Energiezufuhr durch die Angabe der relevanten experimentellen Parameter zu präzisieren.

**[0012]** Definiert man die auf das Material übertragene Laserenergie:

$$F_{scan} = (P \cdot (1 - R)) \cdot t_1$$

wobei

$P$  = Strahlleistung am Target

$R$  = Reflexionsvermögen des Strahls auf der Schichtoberfläche (geeignet gemittelt)

$\Lambda = \pi/4 \cdot (2p)^2$  = Querschnittsfläche des Strahls mit  $2p$  = Breite des Gaußprofils bzw. TOP-HAT-Profiles bzw. charakteristische Breite des Profils, sowie

$t_1 = 2p/v$  = charakteristische Zeit der Energiezufuhr, (gilt für die Mittellinie der Bestrahlungsfläche)

ist. Mit der Wahl der Größe  $F_{\text{scan}}$  sowie der Parameter  $P(1 - R)/\Lambda$  und  $t_1$  (einzeln) läßt sich die Qualität der Laserkristallisation entscheidend beeinflussen.

**[0013]** Zur Realisierung der Erfindung sind dabei die Größen  $P(1 - R)/\Lambda$  und  $t_1$  innerhalb eines Prozefensters einzugrenzen, in welchem eine weitgehende Texturierung der Laserkristallisation eintritt. Es zeigt sich nach eingehenden Untersuchungen, daß alle Schichten mit einer  $\{100\}$ -Oberflächennormalen texturiert sind, bei denen die eingeflossene Energie/cm<sup>2</sup>  $F_{\text{scan}}$  sich in einem engen Bereich unterhalb der Agglomerationschwelle (bzw. Ablationschwelle) befindet. Die zitierten Größen lassen sich durch geeignete Wahl der Strahlparameter  $2p$ ,  $v$  und  $P$  unabhängig voneinander variieren, wobei  $2p$  durch die einstellbare Position des Laserfokus gegeben ist. Die Güte einer texturierten Schicht ist charakterisiert durch die Parameter:

- a) Texturgrad (nur Schichten mit Dominanz der Texturierung mit  $\{100\}$  Flächennormalen)
- b) Die mittlere Kristallitgröße sowie
- c) Art und Häufigkeit von Defekten in der Schicht.

**[0014]** Es zeigt sich dabei, daß für alle relevanten Parametersätze stets folgendes Szenario durchlaufen wird, wenn die eingeflossene Energie  $F_{\text{scan}} = P(1 - R)/\Lambda \cdot t_1$  kontinuierlich gesteigert wird:

1. Es existiert eine scharfe untere Grenze  $F_{\text{scan}}^{(\text{min})}$  ab der zunächst feinkristalline Schichten mit Kristallitgrößen < 100 nm (nicht texturiert) erhalten werden.
2. Bei Steigerung von  $F_{\text{scan}}$  schließt sich ein Bereich an in dem entweder Fall A:  
alternativ: zuerst Textur (100) auftritt bei kleinen Kristallitdurchmessern und bei weiterer Steigerung schließlich vor Erreichen der Agglomeratsschwelle bei anhaltender Textur die Kristallite wachsen auf Durchmesser > 10 µm. Schließlich schließt sich ein Bereich an (unmittelbar unterhalb der Agglomeratsschwelle in dem keine Textur mehr auftritt, jedoch große Kristallite erhalten werden.  
oder Fall B:  
alternativ: zuerst große Kristallite erhalten werden ohne Textur und anschließend Textur (100) auftritt bei anhaltend großen Kristalliten bis zur Agglomeratsschwelle.

**[0015]** Dabei wird beobachtet:

Der Fall A tritt auf für Werte des Produktes  $2pv$  zwischen 1 und 1,5 cm<sup>2</sup>/sec während der Fall B beobachtet wird für Werte von  $2pv > 2$  cm<sup>2</sup>/sec (bis 6 cm<sup>2</sup>/sec). Es zeigt sich außerdem, daß das Phänomen der Textur nur auftritt, wenn die zugeführte Energie/cm<sup>2</sup>  $F_{\text{scan}}$  sich weit oberhalb der Kristallisationsgrenze, d. h. weit oberhalb  $F_{\text{scan}}^{(\text{min})}$  befindet.

**[0016]** Im Patentanspruch 1 wird dieser Sachverhalt durch die Formulierung "... wobei die in die Schicht eingeflossene Energie/cm<sup>2</sup> in der oberen Hälfte des Bereichs zwischen dem Einsetzen der Kristallisation und der Agglomeratsschwelle (bzw. Ablationschwelle) liegt."

**[0017]** Zur Ermittlung des Wertebereichs für  $F_{\text{scan}}$  und  $t_1$  wurden zwei Gruppen von Experimenten auf ihre Textur untersucht und zwar (siehe Tabelle 1)

Fall A, Experiment a bis c mit  $P = 2,14$  Watt

Fall B, Experiment d bis f mit  $P = 1,9$  Watt.

**[0018]** Zum Vergleich wird ein Experiment mit Daten (soweit verfügbar) der unter "Stand der Technik" zitierten Gruppe aus Jena (G. Andrié et al) mit aufgenommen (Experiment g mit  $P = 1,4$  Watt).

**[0019]** Das alternative Verhalten der Fälle A und B hängt ab vom Parameter  $\epsilon$  der sich in folgender Weise definieren läßt:

Definition:  $\sqrt{\epsilon}$  ist gleich dem Quotienten aus der Wärmeeindringtiefe in das Substrat mit Wärmeeindringtiefe  $= \sqrt{a/t_1}$  und dem Strahldurchmesser  $= 2p$ .

**[0020]** Die Wärmeeindringtiefe  $\sqrt{a/t_1}$  wird erhalten als Näherung in der linearen Wärmeleitungstheorie mit  $a = \lambda M \delta / \xi$  mit

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit des Substrats

$M$  = (mittleres) Molekulargewicht des Substrats

$\xi$  = 24 Joule/Molk

$\delta$  = Dichte des Substrats

für Quarzglas beträgt beispielsweise  $a = 8,3 \cdot 10^{-3}$  cm<sup>2</sup>/sec mit  $t_1 = 2p/v$  folgt damit

$$\epsilon = a/t_1 \cdot 4p^2 = a/2pv$$

**[0021]** Diese Größe ist für die genannten Experimente in Tabelle 1 aufgeführt.

**[0022]** Die Tabelle zeigt die wesentlichen für die Textur relevanten Daten für die Experimente a bis f sowie zum Vergleich eine Untersuchung (Experiment g), der zitierten Gruppe Andrié et al bei dem keine Textur auftritt, wohl aber (nach dem Stand der Technik) großflächige Kristallite auftreten. Dieses Experiment (g) ist in der "unteren Hälfte des Bereichs zwischen dem Einsetzen der Kristallisation und der Agglomeratsschwelle" angesiedelt. Die ermittelte Maximaltemperatur der Schicht beträgt (näherungsweise) 2270 K. Der Patentanspruch 1 betrifft den wesentlichen Aspekt des Erfindungs-

gedankens nämlich die Erzeugung texturierter Schichten bei Zufuhr einer Energiemenge an das aufgeschmolzene Material die in einem engen Bereich unterhalb der Agglomerationschwelle angesiedelt ist. Die physikalische Ursache für dieses Verhalten ist nicht genau bekannt. Es kann jedoch festgehalten werden, daß unter den Bedingungen bei denen (100)-Textur auftritt die Abkühlgeschwindigkeit bei der Temperatur  $T_{mc} = 1683$  K besonders langsam ist; d. h., daß die Abkühlrate minimiert wird. Ein Festmachen des Patentanspruchs 1 an der Nähe zur Agglomerationschwelle ist möglich durch Angabe der in die Schicht geflossenen Energiemenge. Naheliegender wäre auch die Temperatur die aus technischen Gründen nur schwer meßbar ist, weil der dreidimensionale Wärmefluß in das Substrat nur modellmäßig zugänglich ist. Die lineare Wärmeleitungstheorie ist für Werte  $\epsilon \approx 1$  nicht brauchbar, wohl aber für  $\epsilon \ll 1$ . Dieses ist näherungsweise für die Experimente d und e der Fall; die ermittelte Maximaltemperatur ist in Tabelle 1 angegeben (mit Werten 3068 K bzw. 3192 K). Die Ermittlung erfolgte unter Anwendung der Beziehung:

$$T_1 - T = P(1 - \bar{R})/(\pi^{3/2} \lambda \rho) \arctan(2/\sqrt{\alpha_1/\rho})$$

mit

$T_1$  = Temperatur der Schmelze zur Zeit  $t_1$

$T_0$  = Temperatur des Substrats vor Erwärmung

**[0023]** Der Linienabstand  $d$  in Fig. 1 bestimmt die Größe des Überlappungsbereichs der Breite  $\Delta d = 2p - d$ . Dieser muß so groß gewählt werden, daß die aus geometrischen Gründen geringere Energiezufuhr nicht zu einem wesentlichen Abfall des Texturgrades und der Kristallitgröße führt. In den Experimenten a bis f betrug der Quotient  $\Delta d/d \approx 1/3$

Tabelle 1

Experiment	a	b	c	d	e	f	g
Strahlendurchmesser $2\rho$ ( $\mu\text{m}$ )	75	75	75	60	60	50	90
Portalggeschwindigkeit $v$ (cm/sec)	1,4	1,6	1,9	8,5	7,5	3,5	5,0
Laserleistung $P$ (Watt)	2,14	2,14	2,14	1,9	1,9	1,9	1,4
absorbierter Anteil $1 - \bar{R}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
$2\rho v$ ( $10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$ )	1,05	1,20	1,45	5,1	4,5	1,8	4,5
Quotient: $\frac{(\text{Eindringtiefe})^2}{(\text{Strahlendurchmesser})^2} \epsilon = \frac{a}{2\rho v}$	0,83	0,72	0,69	0,17	0,19	0,48	0,19
Textur %	keine	>80	-	>80	>80	>80	keine
Kristallitgröße ( $\mu\text{m}$ )	>10	>10	<10	>10	>10	>10	>10
Belichtungszeit $t_1$ (nsec)	5,3	4,7	3,9	0,71	0,80	1,43	1,8
eingeflossene Energie $\frac{2P(1-\bar{R})}{\pi\rho v} \left( \frac{\text{Joule}}{\text{cm}^2} \right)$	104	91	76	19	21	54	16
Temperatur: Target $T_0$ (K)	300	300	300	300	300	300	820
Temperatur: Maximum $T_1$ (K)	-	-	-	3068	3132	-	2270
Energie/cm <sup>2</sup> Agglomerationschwelle $F_{\text{scan}}^{\text{max}} \left( \frac{\text{J}}{\text{cm}^2} \right)$	112	112	112	22,5	22,5	63	-
Schmelzenergie $F_{\text{scan}}^{\text{kin}} \left( \frac{\text{J}}{\text{cm}^2} \right)$	60	60	60	11	11	30	-

## Patentansprüche

1. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten durch Laserbeschuß amorpher bzw. polykristalliner Si-Schicht-

ten auf einem Substrat nach einem Scan-Verfahren gemäß Fig. 1 durch totales Aufschmelzen und Wiedererstarren des Schichtmaterials, wobei die Aufschmelzdauer durch die Strahlleistung sowie die Relativbewegung eines cw oder eines gepulsten Strahls auf der Schicht bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die durch das Laserlicht eingeflossene Energiepro Flächeneinheit an jedem Punkt des Überlappungsbereichs  $\Delta d$ , sowie an jedem Punkt des Zentralbereichs D der Schicht so bemessen wird, daß diese sich innerhalb eines Prozeßfensters befindet, das sich unterhalb der Agglomerationsschwelle (bzw. Abhebeschwelle) der Schicht befindet, mit der Bedingung, daß epitaktisches Kristallwachstum stattfindet bei dem sich texturierte Kristallite mit einer (100)-Oberflächennormalen bilden, wobei typische Kristallitdurchmesser  $> 20 \mu\text{m}$  erreicht werden, wobei die in die Schicht eingeflossene Energie/ $\text{cm}^2$  in der oberen Hälfte des Bereichs zwischen dem Einsetzen der Kristallisation und der Agglomerationsschwelle (bzw. Ablationsschwelle) liegt.

2. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten nach Anspruch 1 dad. gek., daß der Überlappungsbereich so groß gewählt wird, daß mindestens in der inneren Hälfte dieses Bereichs die Texturbedingungen des Anspruchs 1 erfüllt werden.

3. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten dad. gek., daß zur Reduktion der eingeflossenen Energie das Substrat durch äußere Maßnahmen erwärmt wird.

4. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten nach Anspruch 1 und evtl. Anspruch 3 dad. gek., daß die mittlere Substrattemperatur durch äußere Maßnahmen stabilisiert wird.

5. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten nach Anspruch 1 und evtl. einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 4 dad. gek., daß das Ausgangsmaterial der Schicht anstatt reinem Silizium aus einer Silizium-Germaniummischung bzw. -legierung besteht.

6. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten und Anspruch 1 und evtl. einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 5 dad. gek., daß diese als Saatschichten für weiteres kristallines Wachstum verwendet werden.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

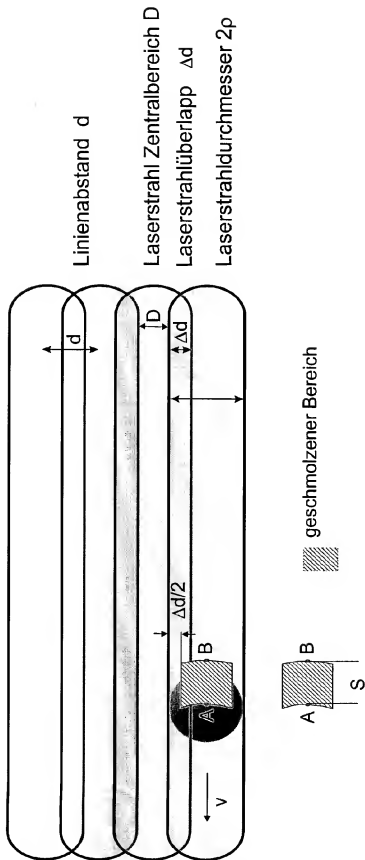


Fig. 1



Europäisches  
Patentamt  
European Patent  
Office  
Office européen  
des brevets

Description of DE10103670

Print

Copy

Contact Us

Close

## Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

### Stand der Technik

In the last years numerous studies are to the homogeneous crystallization amorphous SI surfaces made with various lasers. Im Vordergrund standen Untersuchungen, bei denen Eximerlaser verwendet werden, um amorphes Silizium mit kurzen Laserpulsen aufzuschmelzen, und das wieder erstarrende Material so zu führen, dass die Umwandlung des Schichtmaterials in möglichst grosse einkristalline Bereiche stattfindet. Here the large ones of the characteristic crystallite diameters prove as dependent of the temperature of the support and dependent of the cooling speed of the material. It is shown that as slow a cooling as possible (period of the liquid state in the Submikroskundenbereich) is to be aimed at. Methods of this kind already are in the industrial use. A substantial improvement of the crystal quality (large flat crystallites) became achieved by works of G. And RA and coworkers (Jena), whereby in place of pulsed laser radiation cw a beam of an acore ion laser became used and a movement speed of the point of laser focus of some cms per second set, so that the residence time of the point of focus on a given location of the surface a period of approx. a millisecond constituted. As sequence of the power supply within the milli lowering and range achieved could become that the penetration of the warm ones into the layer document substrate; here: Glass, in addition, quartz glass, the entire cooling process substantial slowed. Model calculations show that by this attempt guidance also the period is appropriate for melt opens and the resolidifying of the material between that in the order of magnitude of milliseconds, which is to be justified partially with the localized heating of the substrate document. The substrate document works as energy storage, whereby the warm return flow from the warmed up substrate surface the cooling procedure of the layer slowed. In this way achieved could become that the crystallization front without substantial disturbance of the growth of single crystalline zones made, penetrating into the liquid (SI). In this way crystallites with diameters became > 100 µm generated with a method, with which the diameter of the laser focus of a cw-laser amounted to 60-100 µm.

### Description of the invention

The present patent specification describes a method to the crystallization and to the texturing of amorphous silicon layers through melt opens of the layers in the region of a relative laser beam moved to the surface, whose focus is in close proximity of the layer.

The method is characterized by the fact that the movement of the beam on the surface of the system (substrate + layer) results

- a) by a linear movement of the portal system with that the system rigidly connected is (method A) or
- b) by a movement of the beam (with optical means) on the surface (rigid) (method b)

With the application of the methods A or b surfaces or predetermined structures leave themselves abschnen under the condition that the material in next to each other located strips is melted, the one predetermined lap zone DELTA D exhibit (Fig. 1).

- In this way the laser focus moved with uniform rate  $v$  (diameter 2  $\rho$ ) goes through amorphous material, which is melted by the beam, as crystallized material, which becomes only partial molten. For argon ion laser radiation (488 Nm and/or. 514 Nm and/or. a mixture of both wavelengths) is very many smaller the absorption of the laser light for crystalline material as for amorphous material, so that in the region, where liquid material borders on crystalline material, epitaxial growth develops. Prerequisite for the epitaxial growth is that the temperature of the melt is on a value below the melting temperature of the crystalline silicon  $T_{mc} = 1683$  K cooled.

In one with the laser focus (rate  $v$ ) moved co-ordination system (case A:  $v =$  rate of the portal system, case b:  $v =$  rate of the beam) referred s the path between the point A on the line center at that the melt open zone begins and the center B of the movement of the front of the epitaxial increasing crystalline layer material progressive in the stationary equilibrium likewise with  $v$ . (Fig. 1).

If one assumes the melted striped region lateral between the points A and B expands, then results for the period  $t_{Schmelz}$ , for which the material is present as melt:

$t_{Schmelz} = s/v$  and arise

typical values for the period  $t_{Schmelz}$  the molten zone from 0,1 to 0,5 milliseconds as well as with selected values  $v = 1$  to 10 cm/seconds typical values of the length of the molten zone  $s$  from 1 to 50 µm

The experimental proof and the measurement of the molten zone of the width  $s$  can take place on-line via measurement of the reflection behavior of an auxiliary laser beam.

During the entire procedure the glass becomes likewise for a period of milliseconds on temperatures in case of a glass substrate  $> T_{mc} = 1683$  K brought and it results in the case of depths of penetration of the warm ones in the order of magnitude of 50 µm in the glass one melt open-deep of the substrate of the same order of magnitude.

The existence of a molten zone of the length  $s$  in the layer marks the insertion of the laser crystallization and defined minimum power supply necessary in addition.

It is meaningful to specify this power supply by the indication of the relevant experimental parameters.

Defined one one the laser energy transmitted on the material:

$F_{scan} = (P \cdot (1 - R) / A) \cdot T_1$

how

$P =$  jet achievement at the target

$R =$  reflectivity of the beam on the layer surface (suitable averaged)

$A = \sqrt{4} (2 \rho) < 2 >$  = cross-section area of the beam with  $2 \rho$  = width of the Gauss profile and/or. TOP HAVE profile and/or.

characteristic width of the profile, as well as

$T1 = 2 \rho / v$  = characteristic time of the power supply, (the irradiation flat-applies to the center line)

is. With the choice of the size Fscan as well as the parameter  $P (1 - R) / A$  and to  $T1$  (single) the quality of the laser crystallization critical can be affected.

To the realization of the invention thereby the sizes  $P (1 - R)$  are to be limited  $/A$  and  $T1$  within a process window, in which a large texturing of the laser crystallization occurs. It points itself to incoming studies that all layers with 100 - surface-normal textured are, with those the flowed Energie/cm  $< 2 >$  = Fscan itself in a narrow region underneath the dye threshold (and/or. Ablation threshold) finds. The cited sizes can be varied by appropriate choice of the jet parameters  $2 \rho$ ,  $v$  and  $P$  independently, whereby  $2 \rho$  by the adjustable position of the laser focus given is. The quality of a textured layer is characterized by the parameters:

a) Texture degree (only layers with dominance of the texturing with 100 flat-normal)

b) The middle crystallite size as well as

c) Kind and frequency of defects in the layer.

It is shown with the fact that for all relevant parameter sets the always subsequent Scenario will go through, if the flowed energy Fscan =  $P (1 - R) / A \cdot t1$  continuous increased becomes:

1. It exists a sharp lower boundary Fscan < (min) > starting from the first fine-crystalline layers with crystallite sizes < 100 Nm (not textured) obtained become.

2. In increase of Fscan a region closes on in that

either case A:

alternative: first texture (100) arises with small crystallite diameters and when other increase finally before reaching the agglomerate threshold with continuous texture the crystallites grows on diameters > 10 nm. Finally a region closes on (, however large crystallites obtained arise to immediate underneath the agglomerate threshold in that no more texture become.

or case B:

alternative: first large crystallites obtained become without texture and subsequent texture (100) arise with continuously large crystallites up to the agglomerate threshold.

Observed becomes:

The case A steps  $2 \rho$  on for values of the product between 1 and 1,5 cm  $< 2 >$  /sec during the case B observed becomes for values of  $2 \rho > 2 \text{ cm} < 2 >$  /sec (to 6 cm  $< 2 >$  /sec). It is shown in addition that the phenomenon of the texture arises only if the supplied Energie/cm  $< 2 >$  Fscan itself the far above Kristallisationsgrenze, D. h. far above Fscan < min > finds.

In the claim 1 this circumstances become by the formulation "... whereby the Energie/cm 2 flowed into < the layer > in the upper half of the region between the insertion of the crystallization and the dye threshold (and/or. Ablation threshold) lies."

The determination of the range of values for Fscan and  $T1$  two groups of experiments became examined on their texture (see table 1)

Case A, experiment A to C with  $P = 2.14$  watts.

Case B, experiment D to f with  $P = 1.9$  watts.

The comparison an experiment with data (so far available) becomes that bottom "state of the art" cited group from Jena (G. And RA et al.) with received (experiment g with  $P = 1.4$  watts).

The alternative behavior of the cases A and B hangs off of the parameter ELEMENT that in the subsequent manner to define leaves itself:

Definition:  $2 \text{ROOT ELEMENT}$  is the same quotient from the warm penetration depth into the substrate with warm penetration depth = @ and the beam diameter =  $2 \rho$ .

The warm penetration depth @ becomes obtained as approximation in the linear thermal conduction theory with  $A = \lambda M \Delta / \xi$  with

$\lambda$  = thermal conductivity of the substrate

$M$  = (middle) molecular weight of the substrate

$\xi$  = 24 joules/milked

$\Delta$  = density of the substrate

for quartz glass for example  $A = 8.3 \cdot 10$  amounts to  $< -3 >$  cm  $< 2 >$  /sec with  $T1 = 2 \rho / v$  follows thereby

$\text{ELEMENT} = \Delta t1 / 4 \rho < 2 > = \Delta / 2 \rho v$

This size is 1 listed for the experiments mentioned in table.

The table shows the substantial for the texture relevant data for the experiments A to f as well as to the comparison a study (experiment g), which cited group and RA et al. with that no texture arises, probably however (to the state of the art) wide crystallites arise. This experiment (g) is settled in the "bottom half of the region between the insertion of the crystallization and the agglomerate threshold". The determined maximum temperature of the layer amounts to (approach) 2270 K. The claim 1 concerns the significant aspect of the invention thought the generation textured layers with supply amounts of energy to the melted material in a narrow region underneath the dye threshold settled is. The physical cause for this behavior is not accurate known. It can become however held that the bottom conditions with those (100) - texture arises the cooling speed with the temperature  $T_{mc} = 1583$  K particularly slow is; D. h. that the cooling rate becomes minimized. Fastening of the claim 1 at the vicinity to the agglomerate threshold is possible by indication of the amounts of energy flowed into the layer. Obvious one would be also the temperature from technical reasons is only heavier more measurable, because the three-dimensional heat flow is into the substrate only model-moderate accessible. The linear thermal conduction theory is for values ELEMENT APPROX 1 not more useful, probably however for ELEMENT < 1. This is approach for the experiments D and e the case; the determined maximum temperature is in table 1 indicated (with values 3068 K and/or. 3192 K). The determination made bottom application of the relationship:

$T1 - T = P (1 - R) / (\sqrt{3/2} \lambda \rho) \arctan (2 \rho / \rho)$

with

$T1$  = temperature of the melt at present  $T1$

$T0$  = temperature of the substrate before heating

The line distance D in Fig. 1 the certain large one of the overlapping area of the width DELTA  $D = 2 \rho - D$ . This must become so large selected that the power supply smaller from geometric reasons does not lead to a substantial decay of the texture degree and the



crystallite size. In the experiments A to f the quotient  $\Delta d/2$  amounted to  $\rho$  APPROX 1/3

Table 1  
EM17.1



Europäisches  
Patentamt  
European Patent  
Office  
Office européen  
des brevets

[Claims of DE10103670](#)
[Print](#)
[Copy](#)
[Contact Us](#)
[Close](#)

## Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

1. Generation textured crystalline Si layers by laser bombardment more amorphous and/or. polycrystalline Si layers on a substrate after a Scan method in accordance with Fig. 1 through total melt opens and resolidifying of the layer material, whereby the melt open duration becomes by the jet data as well as the relative movement one cw or a pulsed beam on the layer certain, characterised in that the energy pro unit area at each point of the overlapping area DELTA D, as well as at each point of the central region D of the layer so dimensioned, flowed by the laser light, becomes that this is within a process window, underneath the dye threshold (and/or. Taking off threshold) of the layer finds, with the condition that epitaxial crystal growth takes place at itself textured crystallites with one (100) - surface-normal form, whereby typical crystallite diameters  $> 20 \mu\text{m}$  achieved become, whereby the Energie/cm 2 flowed into < the layer> in the upper half of the region between the insertion of the crystallization and the dye threshold (and/or. Ablation threshold) lies.
2. Generation textured crystalline Si layers according to claim 1 dad. GEC that the overlapping area becomes a so large selected that become 1 satisfied in the inner half of this region the texture conditions of the claim at least.
3. Erzeugung texturierter kristalliner Si-Schichten dad. GEC that the reduction of the flowed energy the substrate becomes heated by outside measures.
4. Generation textured crystalline Si layers according to claim 1 and possibly. Claim 3 dad. GEC that the middle substrate temperature becomes stabilized by outside measures.
5. Generation textured crystalline Si layers according to claim 1 and possibly. or the several claims 2 to 4 dad. GEC that the starting material of the layer instead of pure silicon from a silicon germanium mixture and/or. - alloy exists.
6. Generation textured crystalline Si layers and claim 1 and possibly. or the several claims 2 to 5 dad. GEC that these as seed layers for other crystalline growth used become.